

岩层移动离层演化规律及其应用研究

Study and application of bed separation distribution and development in the process of strata movement

许家林, 钱鸣高, 金宏伟
(中国矿业大学 采矿系, 江苏 徐州 221008)

摘要: 通过试验与理论分析, 对岩层移动过程中的离层位置与离层量、离层动态发育特征及其影响因素进行了深入研究。结果表明: 覆岩离层主要出现在各关键层下, 覆岩离层最大发育高度止于覆岩主关键层。当相邻两关键层复合破断时, 尽管上部关键层的厚度与硬度比下部关键层大, 其下部也不会出现离层。关键层初次破断后的离层区长度和最大离层量仅为关键层初次破断前的25%~33%。因此, 离层区充填应在关键层初次破断前进行, 并保持关键层不破断。针对目前覆岩离层区充填工艺不能阻止覆岩关键层初次破断的问题, 提出了离层区充填与留设煤柱相结合的“覆岩离层分区隔离充填减沉法”, 发展了覆岩离层充填减沉技术。

关键词: 岩层移动; 关键层; 离层; 离层区充填; 绿色开采

中图分类号: TD 325; TD 713

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2004)05-0632-05

作者简介: 许家林(1966-), 男, 江苏镇江人, 博士, 中国矿业大学采矿系教授、博士生导师。主要从事煤矿岩层控制与绿色开采的教学和科研。

XU Jia-lin, QIAN Ming-gao, JIN Hong-wei

(Department of Mining Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China)

Abstract: The position, size, development characteristics and their influence factors of bed separations have been analyzed deeply by experimental and theoretical methods. The results show that bed separations mainly occur below the key strata, and the highest bed separation space is right below the primary key stratum. When a combined breakage occurs on two adjacent key strata, even if the upper stratum is thicker and stronger than the lower one, there will be no bed separations below the upper key stratum. The largest width and size of bed separations after the key stratum breaks for the 1st time only reach to about 25%~33% of those occurred before the breakage. Therefore, grouting is best done before the key stratum breaks for the 1st time, and ensure that the key stratum would never break. In order to deal with the problem that the current bed separation grouting technology can not prevent the key stratum from breakage, the authors proposed the isolated section grouting method for overburden bed separations by composing bed separation space grouting and pillar. This would be a technical progress in the bed separation grouting.

Key words: strata movement; key stratum; bed separation; bed separation space grouting; green mining

0 前言*

煤层开采后将引起岩层移动与破断, 并在覆岩中形成离层与裂隙。覆岩移动过程中的离层与裂隙分布规律的研究与水体下采煤、离层区注浆减沉及卸压瓦斯抽放等工程问题紧密相关。

岩层控制关键层理论的提出为岩层移动及采动裂隙分布规律的深化研究提供了理论基础。关键层理论的基本学术思想为^[1]: 由于成岩时间及矿物成分不同, 煤系地层形成了厚度不等、强度不同的多层岩层。实践表明, 其中一层或数层厚硬岩层在岩层移动中起主要的控制作用。将对采场上覆岩层局部或直至地表的全部岩层起控制作用的岩层称为关键层。前者称为亚关键层, 后者称为主关键层。也就是说, 关键层的断裂将导致全部或相当部分的上覆岩层产生整体运动。覆岩中的亚关键层可能不止一层, 而主关键层只有一层。为了弄清岩层移动由下往上传递的动态过程, 并对岩

层移动过程中形成的采场矿压显现、煤岩体中水与瓦斯的流动和地表沉陷等状态的变化进行有效监测与控制, 关键在于弄清关键层的变形破断及其运动规律以及在运动过程中与软岩层间的相互耦合作用关系。

1 覆岩离层位置

关键层理论研究证明^[1,2], 岩层移动由下往上成组运动, 岩层移动的动态过程受控于关键层的破断运动, 而呈现图1所示的覆岩移动结构。由图1可见, 当第1亚关键层破断时, 它所控制的上覆岩层组与之同步破断运动, 并在第2亚关键层下出现离层, 如此往上发展直至覆岩主关键层下出现离层。主关键层的破断导致上覆直至地表的所有岩层同步下沉。由岩层移动的动态发育过程研究结论可知, 岩层移动过程中的离层主

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50374066)

收稿日期: 2003-09-07

要出现在各关键层下,覆岩离层最大发育高度止于覆岩主关键层,判别覆岩离层位置只需按文献[3]判别出覆岩中关键层位置即可。

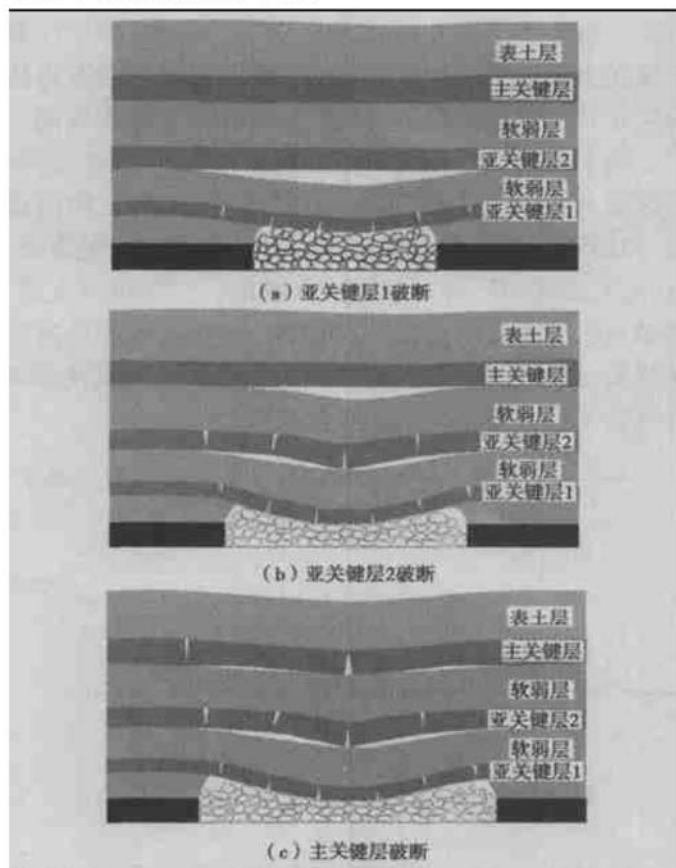


图1 覆岩移动的动态过程及离层位置示意图

Fig. 1 Dynamic process of the overburden movement and bed separation position

关键层理论研究表明^[1],一定条件下相邻两层关键层会出现同步破断的现象,称之为关键层复合破断。当相邻两关键层复合破断时,尽管上部关键层的厚度与硬度比下部关键层大,其下部也不会出现离层。图2为相邻两层关键层非复合破断(见图2(a))与复合破断(见图2(b))条件下,上部关键层下离层的物理模拟结果。两模型除上部关键层的载荷条件不同外,其它条件一致。模型2上部关键层的载荷比模型1上部关键层的载荷大。两关键层的岩性相同,上部关键层的厚度是下部关键层的2倍。由图2可见,模型2由于上部关键层上载荷较大导致了两个关键层的复合破断,上部关键层下未出现模型1所示的离层。

关键层下离层量大小与煤层采高、冒落岩层的碎胀特性、关键层距煤层高度及关键层承载与变形特征有关。第*i*层关键层破断前,其下方离层量理论计算式可表达为

$$B_i = M - K_i \cdot H_i - W_i, \quad (1)$$

式中 B_i 为关键层下离层量; M 为煤层采高; H_i 为

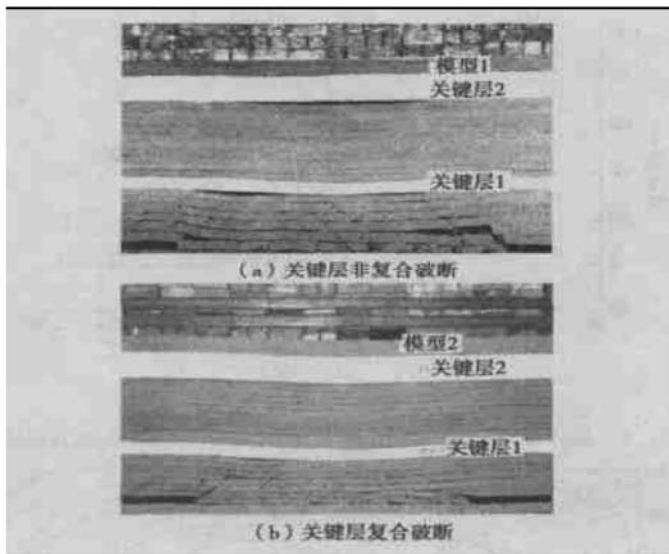


图2 关键层下离层的模拟结果

Fig. 2 Bed separation simulation below the key stratum

第*i*层关键层距煤层高度; K_i 为第*i*层关键层以下全部岩层的综合碎胀系数; W_i 为第*i*层关键层的挠度。

煤层采高一定条件下,关键层下离层量大小主要取决于 K_i 及 W_i 。 K_i 主要为冒落带与裂隙带岩层的碎胀。冒落带与裂隙带破碎岩石的残余碎胀系数与所受载荷大小有关,载荷越大残余碎胀系数越小。因此,当关键层距煤层距离 H_i 增大,冒落带与裂隙带的破碎岩石所受载荷相对增大, K_i 相对减小。 K_i 还与第*i*层关键层下部岩层是否达到充分采动有关,即与工作面开采尺寸 L 及下部岩层的岩性结构有关。

2 覆岩离层动态演化规律

模拟及实测研究表明^[1,4],关键层运动对离层的产生、发展与时空分布起控制作用。

(1) 沿工作面推进方向,关键层下离层动态分布呈现两阶段发展规律:即关键层初次破断前,随着工作面推进,离层量不断增大,最大离层位于采空区中部。关键层初次破断后,关键层在采空区中部离层趋于压实,而在采空区两侧仍各自保持一个离层区。工作面侧的离层区是随着工作面开采而不断前移的,工作面侧离层区最大宽度及高度仅为关键层初次破断前的 1/4~1/3 左右(见图3)。从平面看,在采空区四周存在图4所示一沿层面横向连通的离层发育区,称之为采动裂隙“O”形圈。

(2) 沿顶板高度方向,随工作面推进离层呈跳跃式由下往上发展(见图1)。首先,第1层亚关键层下出现离层,当其破断后其下离层呈“O”形圈分布;此时,上部第2层亚关键层下出现离层,当其破断后其下离层呈“O”形圈分布,如此发展直至主关键层。

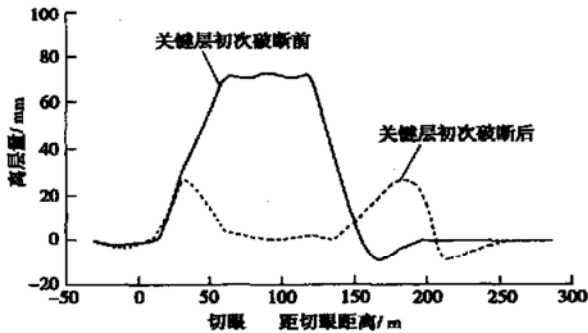


图3 关键层破断前后离层分布

Fig. 3 Bed separation distribution when the key stratum breaks

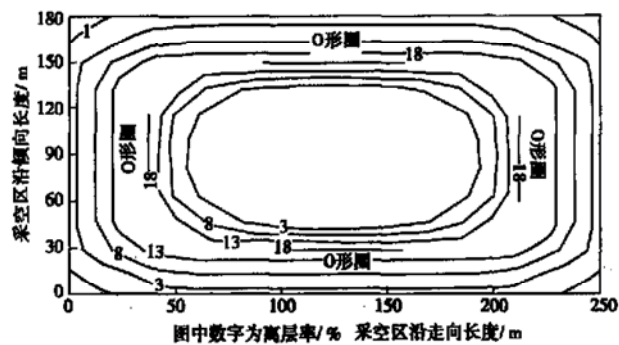


图4 覆岩离层分布的“O”形图

Fig. 4 O-shaped circle of the mining induced fractures

3 覆岩离层分区隔离充填减沉法

3.1 覆岩离层分区隔离充填减沉原理

覆岩离层注浆减沉的基本原理是利用岩移过程中覆岩内形成的离层空洞,从钻孔向离层空洞充填外来材料来支撑覆岩,从而减缓覆岩移动往地表的传播。覆岩离层注浆充填与采空区充填的不同在于其充填区不在采空区而在上部岩层,充填工作不会干扰井下工作面的生产。

自80年代后期抚顺矿务局在我国首次采用离层注浆减缓地表下沉的试验取得成功之后^[5],此项技术引起了我国从事开采沉陷及“三下”采煤的专家和工程技术人员的高度重视,先后在新汶华丰煤矿、兖州东滩煤矿、开滦唐山煤矿等进行了离层注浆减缓地表沉降现场试验,取得了一定的成效^[6-12],但大部分矿井实际减沉效果并不理想^[13,14]。

成功应用离层注浆减沉技术,必须解决下列问题:①离层注浆减沉的适用条件;②离层注浆减沉钻孔布置原则;③注浆工艺优化。关键层理论及其关于覆岩离层动态分布规律的研究结果,为上述问题的解决提供了理论依据。确定覆岩中的关键层位置,掌握其离层与破断特征参数,是注浆减沉技术应用可行性分析、钻孔布置与注浆工艺设计及减沉效果评价的基础。

前文研究表明,关键层初次破断前的离层区发育、离层量大,易于注浆充填;而一旦关键层初次破断后,关键层下离层量明显变小,仅为关键层初次破断前的25%~33%(见图3),注浆难度增加。因此,离层注浆必须在主关键层临初次破断前进行。钻孔布置及最佳的注浆减沉效果应保证关键层始终不发生初次破断。

由于离层区充填为非固结充填材料,浆液浓度稀,关键层下离层随采面推进不断扩展,浆液随之向前流动,关键层初次破断前其下离层空间很难被充满。因而,充填浆液不能对初次破断前的关键层进行支撑,因而不能阻止关键层的初次破断,从而影响后续离层注浆和注浆减沉效果。这是我国一些矿井离层注浆减沉试验未达到预想效果的主要原因之一。

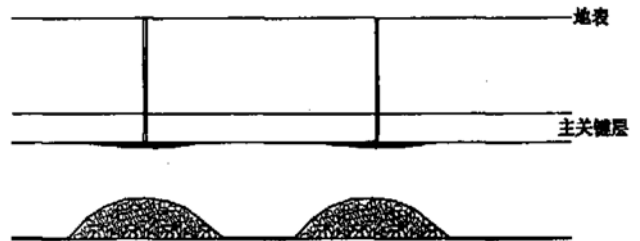


图5 覆岩离层分区隔离充填原理

Fig. 5 Isolated section grouting for the overburden bed separation space

针对现有离层注浆工艺不能阻止关键层的初次破断问题,作者提出了“覆岩离层分区隔离充填法”,其基本原理是(见图5):按关键层初次破断所允许的极限跨距对采面进行分区,分区间采用跳采的方式,使关键层下离层区在关键层初次破断前被分区隔离煤柱隔离成各自封闭的空间,确保各个分区隔离的离层区可以注满浆体,从而起到对关键层有效支撑作用。目前注浆材料中水的比重过大,浆体中的水仅起输灰作用,随着煤层不断开采和时间的推移,浆体中的水最终将大部分流失,最终对关键层起支撑作用的是灰体而非浆体。鉴于上述原因,笔者进一步提出了“覆岩离层分区隔离注浆法”的主动滤水技术思路:与其让浆体中的水缓慢被动漏失,不如采取主动滤水措施,增加注灰量,提高对关键层的支撑能力。

按分区内关键层下部岩层是否达到充分采动,有2类性质的分区:①充分采动分区,分区内关键层下部岩层已达到充分采动;②非充分采动分区,分区内主关键层下部岩层未达到充分采动。对于充分采动分区,当分区隔离煤柱被采出,分区内关键层下部岩层将不会继续下沉,充填体对关键层继续起支撑作用。因而,对于充分采动分区,原则上不需在两分区间留设永久煤柱,可将因跳采而留设的两分区间隔离煤柱采出。

而对于非充分采动分区,一旦分区隔离煤柱被采出,分区内关键层下部岩层将会继续下沉,导致原已对关键层起支撑作用的充填体脱离关键层,关键层下再次出现离层,从而导致关键层悬跨面积超出其初次破断的极限悬跨面积而发生破断。因此,对于非充分采动分区,必须在两分区间留设永久煤柱,因跳采而留设的两分区间隔离煤柱不能采出,实际上形成了离层注浆与条带开采两种方法相结合的综合减沉方案。此时,“离层区充填体+关键层+永久分区隔离煤柱”形成共同承载体,离层区充填体分担部分覆岩载荷,减少了分区隔离煤柱上载荷,其载荷小于条带开采留设煤柱承受载荷。因而永久分区隔离煤柱宽度小于单纯条带开采留设煤柱宽度。离层区干灰充填量越多,充填体承担载荷越多,永久分区隔离煤柱宽度相对越小。

显然,离层注浆减沉技术理想的适用条件应为:各分区内关键层下部岩层能达到充分采动,使得关键层初次破断前离层量达最大值。此时,要求关键层初次破断的极限跨距要大,即覆岩中要存在典型厚硬的关键层。反之,当覆岩关键层的初次破断距较小,图5所示的分区宽度相应减小,从而导致关键层下岩层移动不充分,关键层下离层量较小,注浆量不大,此种条件是不适合采用离层注浆减沉技术的。

3.2 覆岩离层分区隔离充填减沉原理的模拟研究

采用数值模拟对前文所述的“离层区充填体+关键层+永久分区隔离煤柱”共同承载原理进行了初步研究,采用的数值模拟软件为 UDEC3.0。模型走向长度 500 m,垂直高度 210 m(见图6)。煤层为水平煤层,厚 2.5 m,距煤层 60 m 处有一层 40 m 厚的细砂岩,为本模型中覆岩主关键层。表土层厚 100 m,直接赋存在主关键层上。模型中各岩层岩性、厚度以及力学参数如表1所示。

模拟开采方案为:煤层采出宽度 80 m,分区隔离煤柱宽度 80 m,采出两个工作面(见图6)。分别模拟在覆岩主关键层下离层区进行充填与不充填两种状态下,分区隔离煤柱变形与受力状态。离层区充填体的增阻特性按矸石粉承载压缩特性的试验结果确定。

表1 数值计算模型各岩层赋存特征及力学参数

Table 1 Strata properties and mechanics parameter of the model

岩性	厚度 /m	弹模 /GPa	泊松比	容重 $\gamma/(T \cdot m^{-3})$	ϕ	抗拉强度 /MPa	内聚力 /MPa
表土层	100	1.0	0.29	2.0	5	0.02	0.01
细砂岩	40	18	0.25	2.7	41	7	10
砂质泥岩	60	4.6	0.22	2.5	25	3	4
煤	2.5	3.4	0.23	1.4	18	2.3	3
底板粗砂岩	7.5	6.5	0.18	2.7	30	4	4.5

图7为离层区充填与不充填时,分区隔离煤柱上

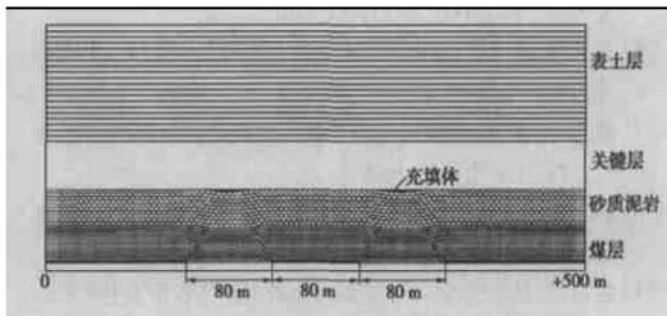


图6 覆岩离层分区隔离充填减沉的数值模拟模型

Fig. 6 The numerical simulation model of isolated section-grouting for the overburden bed separation space

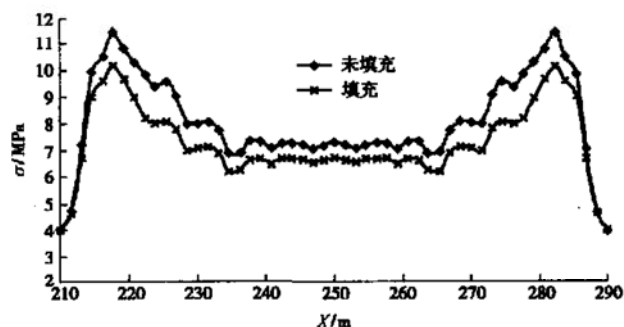


图7 分区隔离煤柱上支撑压力分布的模拟结果

Fig. 7 Simulation results of the loading on the barrier pillar

支撑压力分布的模拟结果。由图7可见,由于离层区充填体分担了部分覆岩载荷,作用在隔离煤柱上的载荷明显减小。模拟结果表明,离层区充填后煤柱承受载荷减小,与煤柱宽度相等而未充填的煤柱相比,其安全系数增大,因而在保持相同安全系数的前提下,采用离层区充填后可减少煤柱宽度,提高采出率。

4 结 语

覆岩离层区充填减沉技术是煤矿绿色开采技术的重要组成部分。本文对覆岩离层动态演化规律的研究成果为覆岩离层区充填减沉技术的进一步发展提供了理论指导。作者提出的“覆岩离层分区隔离充填减沉法”,目前正应用于淮北海孜煤矿巨厚火成岩条件下不迁村绿色开采试验,其实际减沉效果及适用条件有待深入研究。本文有关覆岩离层动态演化规律的研究成果对卸压煤层气开采中有关问题的研究有指导意义,限于篇幅不再赘述。

参考文献:

- [1] 钱鸣高, 缪协兴, 许家林, 等. 岩层控制的关键层理论[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003.
- [2] 许家林, 钱鸣高. 关键层运动对覆岩及地表移动影响的研究[J]. 煤炭学报, 2000, 25(2): 122-126.
- [3] 许家林, 钱鸣高. 覆岩关键层位置的判别方法[J]. 中国矿

- 业大学学报, 2000, 29(5): 463- 467
- [4] 许家林, 钱鸣高. 覆岩注浆减沉钻孔布置的研究[J]. 中国矿业大学学报, 1998, 27(3): 276- 279
- [5] 范学理. 中国东北煤矿区开采损害防护理论与实践[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1998.
- [6] 张玉卓, 徐乃忠. 地表沉陷控制新技术[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1998.
- [7] 孟以猛, 吕振先. 高压注浆减缓地表沉陷技术在大屯矿区的应用[J]. 世界煤炭技术, 1993, (4): 24- 26.
- [8] 郭惟嘉, 沈光寒. 华丰煤矿采动覆岩移动变形与治理的研究[J]. 山东矿业学院学报, 1995, 14(4): 359- 364.
- [9] 张东俭, 郭恒庆. 覆岩离层注浆技术在济宁矿区的应用[J]. 矿山测量, 1999, (3): 34- 36.
- [10] 张华兴, 魏遵义. 离层带注浆的实践与认识[J]. 煤炭科学技术, 2000, 28(9): 11- 13.
- [11] 钟亚平, 高延法. 唐山矿覆岩注浆减沉的工程实践[J]. 矿山压力与顶板管理, 2001, (4): 75- 76.
- [12] 于广明, 杨伦, 苏仲杰, 等. 地层沉陷非线性原理、监测与控制[M]. 长春: 吉林大学出版社, 2000.
- [13] 王金庄, 康建荣, 吴立新. 煤矿覆岩离层充填减缓地表沉陷机理与应用探讨[J]. 中国矿业大学学报, 1999, 28(4): 331- 334.
- [14] 杨伦. 对采动覆岩离层充填减沉技术的再认识[J]. 煤炭学报, 2003, 27(4): 352- 356.

欢迎订阅《勘察科学技术》

《勘察科学技术》是由冶金勘察研究所总院主办的学术-技术类双月刊, 是中国科技论文统计源期刊, 中国地质文摘引用期刊, 中国学术期刊(光盘版)、中国期刊网万方数据科技期刊群全文收录期刊, 多次被评为河北省优秀期刊。

《勘察科学技术》主要介绍岩土工程设计与施工、工程地质、环境地质、水文地质及地下水资源评价、工程测量及地理信息系统、工程物探、岩土测试、工程检测及地下管网探测等专业的科研成果、生产经验、工程实录以及新理论、新技术、新方法。

《勘察科学技术》内容丰富, 理论结合实际, 适于从事岩土工程及勘察的广大科研、设计、施工、监理、教学的专业技术人员

员及高等院校学生阅读、收藏。

《勘察科学技术》国内外公开发行, 双月刊, 大 16 开本, 双月 20 日出版。每期定价 5.0 元, 全年 30 元。邮发代号 18-153。全国各地邮局均可订阅, 也可随时汇款到本编辑部订阅。本刊兼营广告, 价格适中, 印制精良, 注重实效。

欢迎广大读者投稿、订阅和广告惠顾。

地址: 河北省保定市东风中路 13 号《勘察科学技术》编辑部; 邮编: 071069; 电话: 0312- 3020887, 3094054; 传真: 0312- 3034561, E-mail: kckxjs@sohu.com, kckxjs@163.com